

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA UTILIZACIÓN DE VIDRIOS ESPECIALES EN VIVIENDAS SOSTENIBLES

Giménez Molina, C. (1)*, Lauret Aguirregabiria, B. (1)

"Si queremos elevar nuestra cultura a un alto nivel, estamos obligados para mejor o peor, a cambiar nuestra arquitectura. Y esto solo sería posible si eliminamos todos los caracteres "cerrados" de las habitaciones en la que vivimos. Solo podemos conseguirlo introduciendo el vidrio en la arquitectura, la cual deja paso a la luz del sol, la luna y las estrellas, y no meramente a través de unas pocas ventanas, sino a través de cada muro o pared, la cual deberá ser enteramente de vidrio." (Scheerbart 1914)

I. INTRODUCCIÓN

Durante el último siglo, debido a los grandes avances tecnológicos que han permitido un gran avance de la fabricación del vidrio, tanto en la creación de nuevos tipos, como el gran desarrollo constructivo que ha originando el aumento de las superficies vidrio-ventana, con respecto a la superficie total del muro, están ocasionando una baja significativa de los costes de producción y por tanto de comercialización. Es de aquí, nuestra propuesta de estudio, la de ofrecer una investigación real ante todos estos nuevos productos frente a una demanda cada vez mayor, ofreciendo una comparación entre ellos y su eficiencia energética, mediante un nuevo método de ensayo.

La creación de una casa de vidrio es uno de las construcciones de diseño más significativos en el movimiento moderno. Las implicaciones formales, estructurales arquitectónicas y constructivas de un proyecto de vivienda cuyo principal material de revestimiento es el vidrio, presenta un nuevo modo y visión sobre la manera de habitar, de construir y de entendimiento de la nueva vivienda del siglo XIX. Las posibilidades constructivas que conllevó la evolución de las técnicas y de los materiales a comienzos del siglo XIX, repercutieron en las propuestas arquitectónicas de las generaciones de la época permitiendo el florecimiento de una nueva tipología de edificios, como creación arquitectónica de gran belleza y como forma del futuro. Se trataba del nacimiento del hierro como material estructural para uso en edificación y la general difusión de la industrialización que tuvo el impacto del vidrio, tendencia que culminó en el Palacio de Cristal de John Paxton, construida en 1851 para la Gran Exposición de Londres.

Para mediados del siglo XIX, la estructura de acero usada en conjunción con estructura de vidrio modular, se convirtió en la técnica standard para prefabricación y levantamiento de nuevos almacenes, mercados y estaciones de ferrocarril según las nuevas necesidades urbanas.

Progresivamente, se fue aplicando este conocimiento a las viviendas, naciendo un nuevo concepto de vivienda abierta al espacio exterior, tal y como se muestra a continuación a través de ejemplos que influenciaron y determinaron un modo de construir y habitar, tales como La Maison de Verre, la casa Farnsworth y otros ejemplos.

La Maison de Verre, diseñada en 1928, y construida en París en 1932 por Pierre Chareau, constituye sin duda el gran salto de la arquitectura doméstica a la hora de adaptar las nuevas tecnologías, ya aplicadas en edificios públicos.

La vivienda intenta dar solución simultáneamente a dos problemas: por un lado construir el nuevo edificio bajo lo que quedaba sin provocar daños estructurales a las plantas superiores, y por otro iluminar el interior de la nueva vivienda, que por su estrechez y ubicación en el patio de manzana que carecía de luz natural. Estas dos exigencias determinaron el uso de estructura metálica y la elección de bloques de vidrio translúcidos para las fachadas que permiten el paso de la luz más el resguardo de la privacidad, propia de un hogar, tal y como muestra la Imagen 1.

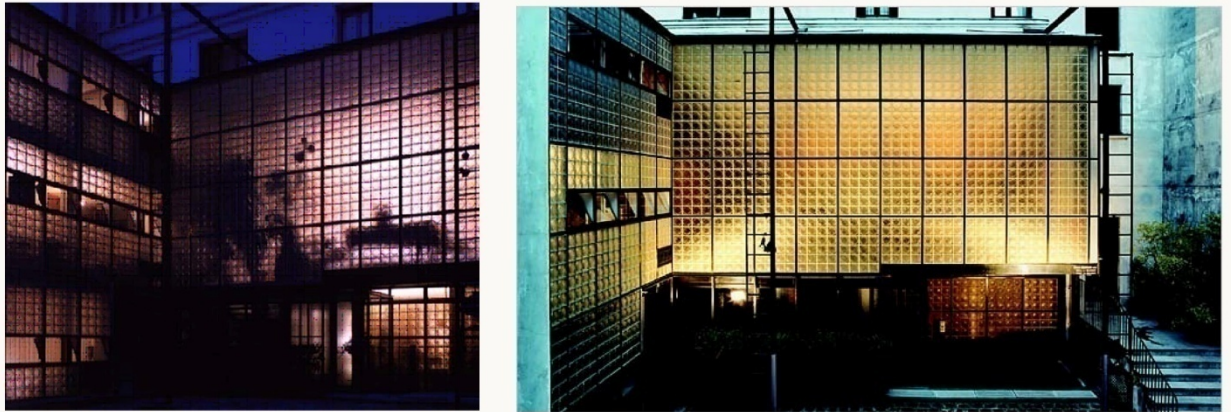


Imagen 1. Exterior de la Masion de Verre. Fotografías tomadas por Nicolai Ouroussoff. ac.silvaruiz.free.fr. Agosto 2007

El Tratamiento de fachada supone una novedad por cuanto parecen reflejarse en su superficie los ideales de la vanguardia arquitectónica del momento: nuevos materiales, diseño moderno, elementos estandarizados y un proceso constructivo industrializado cuyo fin inmediato era la rapidez de ejecución y el abaratamiento de costes.

La materialización de las posibilidades máximas del vidrio en la arquitectura moderna, llegaría de la mano de Luis Mies Van der Rohe. Su legado arquitectónico sigue siendo un referente claro en la arquitectura contemporánea en cuanto a claridad estructural, tecnología aplicada a la arquitectura y depuración formal, utilizando el vidrio como primer material para investigación, desarrollando varios estudios en los que empleaba grandes superficies de este material para revestir los edificios.

Desde una perspectiva general, podría considerarse a la casa Farnsworth como un contenedor rectangular de cristal, sostenido por una superficie plana, idéntica a la que le sirve de cubierta. Una caja acristalada que permite el paso de la luz, tal y como se muestra en la imagen 2.



Imagen 2. Casa Farnsworth. Plano. Illinois.
<http://catedra.blanca.mty.googlepages.com/farnsworthhouseii>
<http://www.farnsworthhouse.org/photos.htm>

La escasez de los elementos empleados en la construcción de la vivienda representa una brillante síntesis de la filosofía constructiva minimalista de Mies: "menos es más". De este modo, se produce una negación de la propia materialidad de lo construido, careciendo completamente tanto de los muros exteriores sustituidas por un muro cortina de suelo a techo como de los interiores. El predominio absoluto del cristal alude a la idea de conexión entre lo interior y lo exterior, entre lo público y lo privado, siendo éste último, casi inexistente.

Actualmente los productores de vidrio para arquitectura han mejorado sus cualidades de visibilidad, aislamiento, seguridad y comodidad. Hoy en día, el acristalamiento de un edificio se ha convertido en un sofisticado sistema que prevé resolver los problemas de iluminación, ventilación, humedad, polvo, sonido, climatización y hasta protección con respecto a los rayos ultravioleta e infrarrojos. El siguiente ejemplo que se expone, es una propuesta innovadora para el uso del vidrio en la arquitectura de hoy. Se trata del prototipo White Wing.

El equipo del Solar Decathlon 07, de la UPM, compuesto por profesores, doctorandos y alumnos de grado de la ETSAM, realizó un primer prototipo, para la participación del Concurso Solar Decathlon en el mall de Washington (EEUU). Se trata de una "gran ala en voladizo", de forma similar al ala de un avión, propuesto realizarla con materiales compuestos con alternancia de fibras de carbono y vidrio. A su sombra y bajo este voladizo se esconde, totalmente separada de ella, un volumen prismático, totalmente acristalado, con los criterios de ahorro de energía y sostenibilidad más actuales, tal y como se indica en la imagen número 3.

La contradicción inicial que pudiera existir por el hecho de plantear una caja de cristal como prototipo de vivienda sostenible, se solucionaría recurriendo a las técnicas pasivas de bioclimatismo, junto con la ayuda de nuevas tecnologías existentes actualmente en el mercado, como la utilización de vidrios inteligentes, capaces de cambiar sus cualidades ópticas de transmisión y absorción de la radiación solar, contando con la ayuda de la domótica en todo momento, para el mantenimiento de unas medidas internas de confort agradables.



Imagen 3. White Wing. Fotografía de archivo grupo Solar Decathlon 07.

Hasta aquí este pequeño resumen de casas de vidrio, que si bien se considera un importante logro arquitectónico; su funcionamiento, ahora mismo, depende de unas fuertes cargas de aire acondicionado, que hoy día se consideran insostenibles. Por lo tanto se estima de primera necesidad estudiar la eficiencia energética de las envolventes de vidrio.

II. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

La eficiencia energética es actualmente uno de los principales aspectos en lo que a sostenibilidad en viviendas se refiere.

Por tanto, es esencial una breve explicación del concepto que nos ocupa. Aunque pueda aparecer a priori un concepto que por sí sólo se entiende, la realidad es que es un término muy complejo y amplio, lo que se demuestra a la hora de dar una definición. Casi siempre se tiende a sobredimensionar la componente tecnológica de la eficiencia energética frente a otros elementos. Siendo importante la componente tecnológica no es necesariamente la principal y sobre todo no siempre resulta la más afectada durante la puesta en marcha de cierto tipo de medidas.

Es fácil de reconocer por ejemplo, la eficiencia energética de una vivienda, en el sentido de consumo. Una vivienda resulta eficiente, si se compara con producción-consumo, al mantener un nivel de confort con un ahorro de energía, lo que conlleva a la larga un ahorro económico. Se trata por tanto de eficiencia, hablando en términos de aislamiento de una vivienda, electrodomésticos, vidrios...). Pero este ahorro energético que se produce a nivel individual no necesariamente se visualiza a nivel del conjunto de la comunidad. Un incremento en el número de viviendas construidas o un aumento de la demanda de confort (más electrodomésticos, aire acondicionado, etc.), pueden enmascarar las mejoras en la eficiencia energética alcanzadas a nivel individual.

Para intentar dar una solución a todos estos problemas, se abre desde una perspectiva internacional, dos grandes protocolos sobre el cambio climático, ambos enmarcados dentro de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El primero de ellos, el Protocolo de Kioto (Japón), en el que el 11 de diciembre de 1997, 125 países se comprometieron, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir en un 5% de media las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004. El objetivo principal es disminuir el cambio climático cuya base es el efecto invernadero y tiene por objeto reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012. Del 3 al 14 de Diciembre de 2007, y para sustituir el protocolo de Kioto, 190 países de todo el mundo, se reunieron en Bali (Indonesia), para desarrollar un nuevo protocolo que sustituya al de Kioto, cuando éste expire en el 2012, aunque aún no se ha llegado a ninguna decisión.

Ante este panorama internacional, es importante declinar esfuerzos al estudio de la eficiencia energética de los cerramientos de vidrio, estudiado no solo desde el punto de vista bioclimático, sino también arquitectónico.

Uno de los mayores problemas que se encuentran y aún faltos de conocimiento, son las pérdidas generadas por el vidrio, ya sea en ventanas, o bien en muros cortinas. Sus defectos son bien conocidos, pero hoy día, tras la gran cantidad de nuevas tecnologías surgidas en éste ámbito, hace posible el planteamiento de si empieza a merecer la pena esta inversión, ya sea a corto plazo y a largo plazo. Es por ello, que nos planteamos en esta investigación el estudio de los nuevos vidrios inteligentes existentes en el mercado.

III. VIDRIO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Es bien conocido, que uno de los aspectos positivos del vidrio es su transparencia, proporcionando un sinfín de posibilidades en el ámbito arquitectónico y de expresión plástica, abarcando un millar de soluciones funcionales, ya sea con respecto a la iluminación natural, o aspectos de percepción o comunicación visual.

A partir de aquí, podemos entrar a definir y abarcar un sinfín de posibilidades y tipologías dentro del vidrio, dando soluciones distintas entre sí.

Es por ello que se está considerado como un material único en construcción.

Sin embargo, a pesar de ser el vidrio un material único en construcción, en función del clima, lugar utilizado y época del año, el vidrio puede jugar bien en nuestra contra (el llamado efecto invernadero), o a nuestro favor (como captación solar).

Ya desde los inicios de la arquitectura moderna surgieron los problemas técnicos en el uso de las superficies vidriadas de grandes dimensiones. La radiación solar con el exceso de luz y las ganancias térmicas que la acompañan, así como la falta de aislamiento térmico son los principales inconvenientes de este material. El primero de los fenómenos mencionados se relaciona con el llamado efecto invernadero al atravesar los infrarrojos solares el vidrio, calentando los elementos o materiales sobre los que incide, que a su vez irradian infrarrojos de mayor longitud de onda para los cuales el vidrio se convierte en una barrera, quedando atrapados en el interior de la construcción. Este fenómeno es aprovechable como recurso energético cuando se necesita calentar, sin embargo, en exceso resulta contraproducente cuando las condiciones interiores no lo demandan.

Las bajas temperaturas de los periodos invernales evidenciaron uno de los principales problemas técnicos del vidrio, que es la falta de aislamiento térmico. La sensación de pared fría, pérdidas de calor y la condensación en su superficie son consecuencia de esta característica. Estas pérdidas de calor se producen a través de tres procesos: convección, conducción y radiación.

Debido a la amplia gama de problemas a resolver en las características físicas del vidrio, la tecnología de producción para la construcción ha ido diversificando su producto, bien variando la composición química del vidrio, realizar tratamientos superficiales, agregar elementos o gases de baja emisividad entre dos vidrios, incluir sistemas pasivos o activos de control solar y térmico, o combinando varios de éstos, ofreciendo así distintos tipos de vidrios que obedecen a solucionar uno o varios problemas: vidrios de comportamiento óptico modificado, de control solar, aislantes térmicos y acústicos, de baja emisividad, de seguridad, decorativos, laminados, resistentes al fuego, tintado....

Por tanto, tras el creciente interés en la construcción por la incorporación de vidrios en fachadas, ha potenciado el uso de nuevas tecnologías que mejore y aumente el confort, productividad y comodidad para sus ocupantes, reduciendo los costes, y contribuyendo a una mejora de la salud del planeta reduciendo el uso de energía y el consecuente el negativo impacto medioambiental.

Por consiguiente, el papel de sistemas de vidrio, sería el siguiente:

- Potenciación de la protección solar y control de las cargas de aire acondicionado, mediante una mejora del confort térmico y un aumento de la luz natural.
- Potenciación de la calidad del aire y cargas de aire acondicionado menores, usando ventilación natural empleando en fachadas elementos del control de aire.
- Uso de sistemas fotovoltaicos en el edificio contribuyendo así al balance energético.
- Mejora del ambiente interior del edificio guiado a una mejora de la salud y confort de sus ocupantes.

El más importante desarrollo a corto plazo es el desarrollo comercial de una delgada película electrocrómica. Estos vidrios inteligentes, o también llamados Smart glazings, pueden cambiar su color y por lo tanto la irradiación solar sobre él, en respuesta a las necesidades de los ocupantes del edificio, manteniendo siempre la transmitancia característica del vidrio invariable

Una progresión de innovaciones se ha ido integrando en el vidrio. Entre ellos, podemos destacar las siguientes:

- **Vidrio laminado:** Múltiples capas de vidrio o películas de plástico, mejoran la resistencia térmica y reducen las pérdidas caloríficas atribuidas a la convección entre las capas del vidrio.
- **Capas bajo emisivas:** Las capas bajo emisivas son totalmente transparentes e invisibles, pero tienen una alta reflectancia (bajo emisivos) a las longitudes de onda infrarrojas, reduciendo por tanto la transferencia de calor en el conjunto de la ventana.
- **Vidrios y capas de control solar:** Para reducir las cargas de frío, nuevos tipos de vidrio tintando y nuevas capas pueden reducir el impacto de la radiación solar sin sacrificar la vista. Estas capas absorben y reflejan la porción infrarroja de la radiación mientras que trasmite la radiación visible, reduciendo por tanto el factor solar y las cargas de frío. Estas capas de control solar pueden incluir además dispositivos y capas bajo emisivas.

- **Relleno de gases bajo emisivos:** Con el uso de una capa bajo emisiva, la transferencia de calor a través de la cámara está dominada por conducción y por convección natural. Aunque el aire es relativamente un buen aislante, existen otros gases, tales como Argón, Krypton y xenón) con conductividades térmicas más bajas. Usando por tanto uno de estos gases, se consigue reducir la transferencia de calor entre las capas de vidrio.

Se han descrito hasta ahora, las nuevas tecnologías en el terreno de los vidrios, sin entrar aún en los llamados Vidrios inteligentes o Smart Glazings, capaces de cambiar su transparencia o color. Estos vidrios pueden dividirse en dos grupos, por un lado los **vidrios pasivos**, controlados exclusivamente por las condiciones externas al cual es expuesto el edificio o vidrio, en respuesta bien a la intensidad lumínica o bien el efecto de temperatura. Dependen por tanto de la composición química del vidrio. Por otro lado encontramos los **vidrios activos**, que son capaces de cambiar su transparencia aplicándoles un pequeño potencial eléctrico, controlado por los ocupantes del edificio.

VIDRIOS PASIVOS

Un vidrio pasivo, es controlado por las condiciones externas al cual es expuesto el edificio.

- **Fotocrómicos:** El material fotocrómico cambia su transparencia en respuesta a la intensidad lumínica, oscureciendo en función de la radiación. Estos cristales permiten la transmisión suficiente de luz, según las necesidades requeridas, recortando los excesos de luz que crea excesiva luminosidad y sobrecargas del sistema de refrigeración.
- **Termocrómicos:** Un vidrio termocrómico, cambia su transparencia en respuesta a la temperatura, que varía desde un estado claro, cuando ésta disminuye, a un color difuso y blanco, que refleja la luz, cuando sube la temperatura. La temperatura del vidrio, la cual va en función del ambiente exterior e interior, regularía la cantidad de radiación solar que incide.

VIDRIOS ACTIVOS

Un vidrio activo, cambia su transparencia, por la aplicación de una pequeña corriente eléctrica, controlado por los propios ocupantes del edificio.

- **Gasocrómicos:** Un vidrio gasocrómico, está compuesto de gas hidrógeno, solo o mezclado con otros inertes, que en cooperación con una capa electrocatalítica hacen cambiar el color debido del vidrio, debido al hidrógeno introducido.
- **Vidrios de cristal líquido disperso (LCD):** Consiste en una fina película de cristal líquido que es colocado entre dos conductores eléctricos transparentes sobre delgadas películas de plástico y todo ello es laminado entre dos capas de vidrio. Cuando está apagado, el cristal líquido está desordenado y desalineados, reflejando la luz, y consiguiendo un estado translúcido. Algunas aplicaciones realizadas acerca de estos vidrios sobre los rayos ultravioleta, permiten su aplicación en exteriores, pero comúnmente es usado en interiores.
- **Vidrio de partículas en suspensión (SPD):** Este vidrio, controlado eléctricamente, utiliza una delgada capa de líquido, en el cual numerosas partículas microscópicas están suspendidas. En un estado apagado, las partículas están desordenadas y bloquea parcialmente la transmisión solar y la vista.
- **Vidrios electrocrómicos:** Una capa electrocrómica es un conjunto de capas “encendibles” de delgadas películas, que aplicados al cristal o al plástico, siempre en la superficie del vidrio externo, pueden cambiar su apariencia desde un claro (amarillo claro) a un azul oscuro (azul de Prusia), cuando se le aplica un pequeño voltaje, permitiendo la visión a través de él.

La transmitancia (Tv) y el coeficiente de ganancia de calor (SHGC), varía dependiendo de la composición del material. El factor U, no se ve afectado por el tintado.

- **Vidrios con cámara de agua (Intelliglass):** El objetivo fundamental de esta patente consiste en fabricar un acristalamiento ligero activo formado por dos lunas de vidrio laminado y cámara de aire y agua en circulación, proporcionando el control de la carga térmica y el confort térmico, al reducirse la radiación infrarroja en la cámara de agua. El control de la iluminación se consigue gracias a la introducción de un fluido activo que al circular por la cámara, permite regular la transparencia del vidrio.

Se adjunta a continuación esquema y tabla comparativa de los vidrios inteligentes expuestos anteriormente. (Tabla 1).

VIDRIOS INTELIGENTES						
CONTROL ACTIVO					CONTROL PASIVO	
TIPO	SPD	LCD	EC	GASOCRÓMICOS	FOTOCRÓMICOS	TERMOCRÓMICOS
COMPONENTE	Partículas en suspensión	Cristales líquidos	Materiales electrocrómicos	Gas hidrógeno	Haluros metálicos	Gel termocrómico
AGENTE	Electricidad				Luz	Calor
EFECTO	Claro-oscuro	Opaco-transparente	Claro-oscuro	Claro-oscuro	Claro-oscuro	Opaco-transparente
¿CUANDO ES TRANSPARENTE?	Encendido	Encendido	Apagado	Apagado	-	-
ESTADO DE TRANSICIÓN ENTRE ENCENDIDO-APAGADO	SI	NO	SI	SI	SI	SI
APLICACIÓN DE VOLTAJE PARA MANTENER EL ESTADO	NO	NO	SI	NO	No corresponde	No corresponde
TRANSMITANCIA	0.22-0.05 a 0.57-0.12.	0.22-0.05 a 0.57-0.12.	0.5-0.7 a 0.02-0.25	0.10-0.59	En experimentación	En experimentación
FACTOR U	Dependiendo del tipo de vidrio usado. No varía en la transición.				En experimentación	En experimentación

Tabla 1. Tabla comparativa de vidrios

IV. ESTUDIO DE LA CONTRIBUCIÓN DEL VIDRIO A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. DISEÑO DE ENSAYOS.

Debido a esta gran variedad de nuevos vidrios, se plantea el estudio del impacto energético y económico, de estas tecnologías, aún en una temprana fase de investigación, que sirva como guía a un futuro proyectista, sobre qué tipo de vidrio es más eficiente, en función de la época del año, y del clima, el así como el desembolso económico que ello supondría a priori, comparado con el ahorro energético obtenido posteriormente.

Para ello se propone un método de estudio experimental mediante ensayo de distintos tipos de vidrio, incluyendo vidrios con cámara ventilada y sin ventilar, utilización de fluidos estáticos y en circulación, colocación de persianas exteriores, interiores o intermedias y vidrios especiales.

El procedimiento de ensayo se está realizando mediante unas cajas de dimensiones 60x60x60 interiores, abierto por una de sus caras, en madera contrachapada de 10 mm antihumedad, barnizada convenientemente la parte que queda a la intemperie, aislada al exterior con 4 centímetros de poliuretano y aislamiento térmico reflectivo, excepto la cara acristalada.

En la cara abierta (acristalada) se irán ensayando las distintas composiciones de vidrio. En la imagen número 4 adjunta, se puede observar tanto las cajas de ensayo realizadas como el lugar de realización de los mismos.



Imagen 4. Cajas de ensayo. Fotografía de archivo.

El hecho de que sea 60*60*60 cm, es que es el tamaño más grande, fácil de transportar, permite el paso libre por puertas y pasillos, y permite la colocación de las cajas en cualquier localización.

Los resultados de los primeros ensayos realizados muestran además que los valores de las temperaturas interiores son superiores a los esperados en una habitación real, por lo que tiene la ventaja de mostrar los resultados con mayor dramatismo que un ensayo realizado a escala 1/1.

Estas medidas puede también entenderse como la cuarta parte de una habitación tipo de 2.40*2.40*2.40 m: Escala 1/4 (imposible de transportar y mucho más difícil de construir, permitiendo estudiar el factor de escala energéticamente hablando, cuya realización no se descarta en un futuro próximo.

Estas cajas de ensayo permitirían en un futuro la incorporación de sensores activos y de una pequeña instalación domótica adosada a la caja, que pueda reaccionar activamente desplegando persianas, haciendo circular fluidos por la cámara de vidrio o activar el vidrio electrocrómico en su caso.

Los datos se están recogiendo mediante sensores de Temperatura y Humedad, Marca Hobo y Modelo *Hobo Temperature, RH* ©, 1996 ONSET para interior, y *HOBO pro series Temp, RH* © 1998 ONSET para exterior, tomados en intervalos de cada 15 minutos. (Imagen número 5).



Imagen número 5. Sensores Hobo de Temperatura y Humedad exterior e interior. Fotografía de archivo.

Los datos de temperatura y humedad exteriores, son obtenidos de la Estación Meteorológica del DEPARTAMENTO DE GEOFISICA Y METEOROLOGIA de la Universidad Complutense de Madrid, agradeciendo la cesión de los datos a los profesores D. Carlos Yagüe y D. Carlos Armenta.

Los ensayos se están realizando en la Terraza Norte de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid a 40°25'N, 3°41'W, porque permite orientar las cajas a Sur, con el 100% de la bóveda celeste sin obstáculos y hacerse cualquier día del año.

V. MÉTODO DE ENSAYO: PROCEDIMIENTO OPERATIVO

Previo al comienzo de los ensayos, se ha establecido un plan de vidrios a ensayar así como se ha prefijado la época del año para realizarlos, ya sea que se trate del solsticio de invierno, de verano o de equinoccio.

Para ello se programan los sensores y se efectúa el ensayo en la terraza Norte de la ETSAM, durante el número de días prefijados.

Se pretende comparar el comportamiento energético de una determinada composición de cerramiento con el del vidrio sencillo de 6 mm, lo que se realiza tomando medias simultáneas en dos cajas idénticas, tomando siempre como patrón el de 6 mm, que es el vidrio más común y más fácil de fabricar que se usa hoy día en construcción, realizando el ensayo al aire libre, cubriendo todo el recorrido del sol.

Estas cajas están orientadas actualmente a Sur, pero en futuro pueden orientarse a otras orientaciones, analizando sus ventajas-inconvenientes.

Como resultado de estos ensayos, obtenemos unos datos que representados en gráficas, nos proporcionan el recorrido diario de las temperaturas y de la humedad relativa en cada una de las dos cajas, permitiendo comparar porcentualmente el comportamiento energético de un determinado comportamiento con respecto al de 6 mm, a lo largo de varios días completos.

VI. ENSAYOS PRELIMINARES

Hasta el momento se han ensayado dos tipos de vidrio doble. Se trata de un doble acristalamiento formado por dos vidrios flotados Planilux de Saint Gobain Glass incoloros de 6 mm y cámara de aire 8 mm y otro similar, con la particularidad de ir sellado en frío con silicona estructural para evitar filtraciones de agua al exterior.

Los ensayos realizados hasta el momento, ascienden a 15 días (vidrio simple y doble con cámara de aire) y 8 días (vidrio simple y doble con cámara de agua).

Como se pueden observar en las gráficas 1 y 2 adjuntas, (realizadas a partir de los datos obtenidos de los sensores de temperatura y humedad), representan un ciclo de un día, que se entiende como unidad que se repite cíclicamente. La curva de temperatura, asimétrica en la mitad de un ciclo de 12 horas diurna, a pesar de que el camino del sol es simétrico. Por la noche, la temperatura exterior baja, y progresivamente, conforme avanza el día, la temperatura empieza a subir, aumentándose la temperatura de la caja. Una vez que se ha calentado, coincidiendo con las horas de sol, comienza a descender muy lentamente, mucho más lentamente que la temperatura exterior ha bajado, debido a la inercia térmica de la caja, hasta llegar casi a la par que la temperatura exterior, notándose la asimetría en la diferencia entre la rapidez calentamiento que el enfriamiento progresivo.

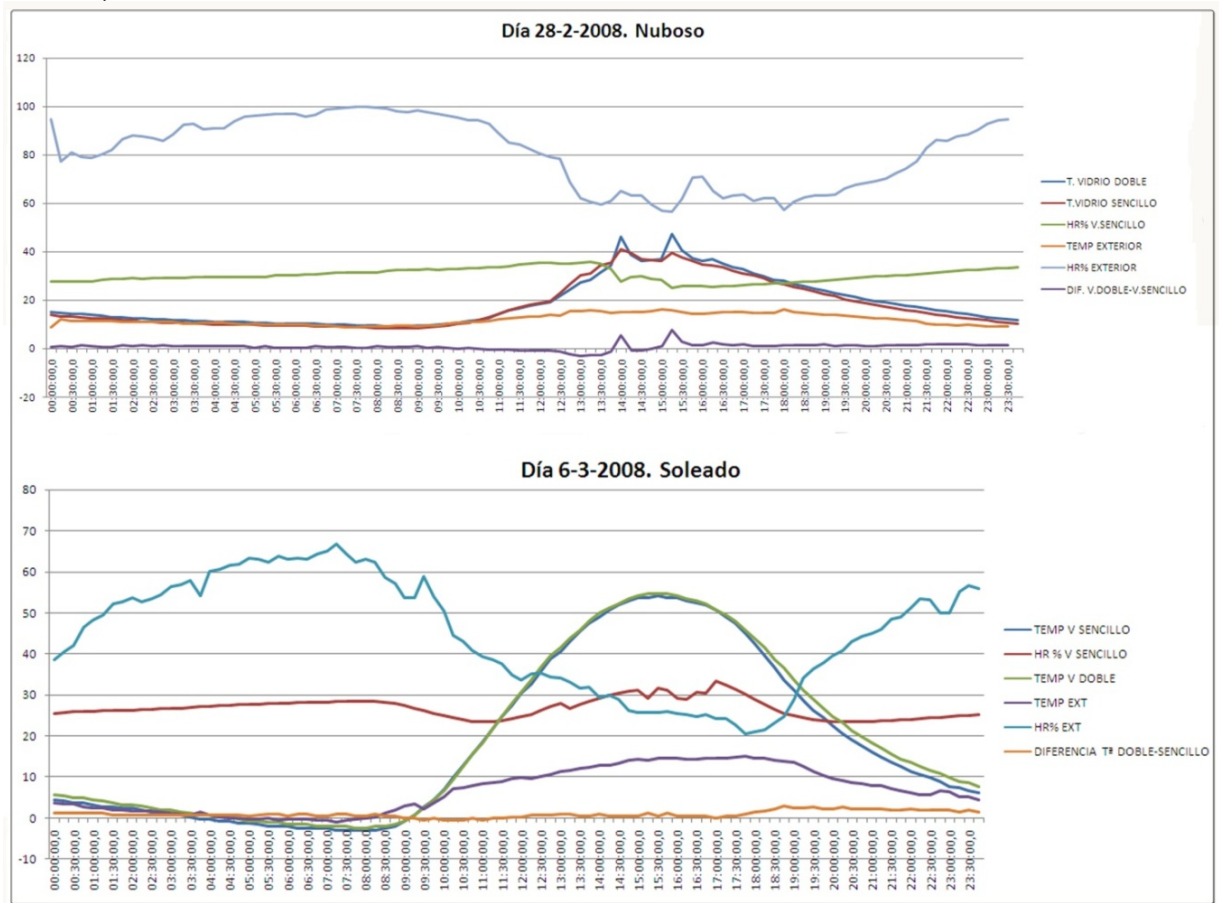
- **Comparación vidrio sencillo con vidrio Climalit 6/8/6 con cámara de aire.**

El ensayo se ha realizado durante los días 26 de Febrero al 11 de Marzo del 2008, cogiendo los días 28 de Febrero y 6 de Marzo como días **soleado (6-3-08)** y **nuboso (28-2-08) con precipitaciones**. En el día soleado escogido se han observado unas temperaturas cambiantes entre -4°C y 15°C con temperaturas frías durante la noche, ascendiendo a una temperatura templada durante las horas centrales del día. Como se puede observar en la gráfica 1 del día 6 del 3, curva de color morada. En el día nuboso del día 28 del 2, se mantienen unas temperaturas constantes de unos 15°C-20°C durante todo el día con una precipitación acumulada durante todo el día de 1.2mm, lo cual viene

reflejado en el aumento de la humedad relativa durante las primeras horas de la mañana a un 100%. (ver gráfica 1, curva azul para la humedad y naranja para la temperatura). Se puede observar en ambos casos como a medida que aumenta la temperatura la humedad disminuye.

En ambos casos, la temperatura alcanzada en el interior de las cajas de ensayo, se mantiene siempre a una temperatura muy parecida (siempre 3 o 4°C) por encima de la temperatura exterior por la noche, ascendiendo por el día, en horas de sol a una diferencia de 20°C en el día nublado, y 40°C en el soleado. (Ver curvas de Temperatura exterior y vidrio doble en ambas gráficas).

Se observa que la temperatura alcanzada por ambos vidrios va siempre en paralelo, manteniendo en cada caso la temperatura más elevada la del vidrio doble cuando la temperatura es más baja (por la noche), con una diferencia de 1.24°C, disminuyéndose esta diferencia conforme avanza el día, lo que nos refleja que el vidrio doble con cámara de aire nos aísla durante la noche. Para ver esta diferencia se ha elaborado una gráfica comparativa de los dos tipos de vidrio, a base de restar el vidrio doble con el vidrio sencillo y así poder apreciar el comportamiento relativo entre ambos, observando las fluctuaciones de la curva sobre el valor "0" (ver gráfica 1, día soleado color naranja y nublado color morado).



Gráfica 1. Vidrio sencillo-doble acristalamiento. Soleado y nublado.

- **Doble acristalamiento 6/8/6 con cámara de agua**

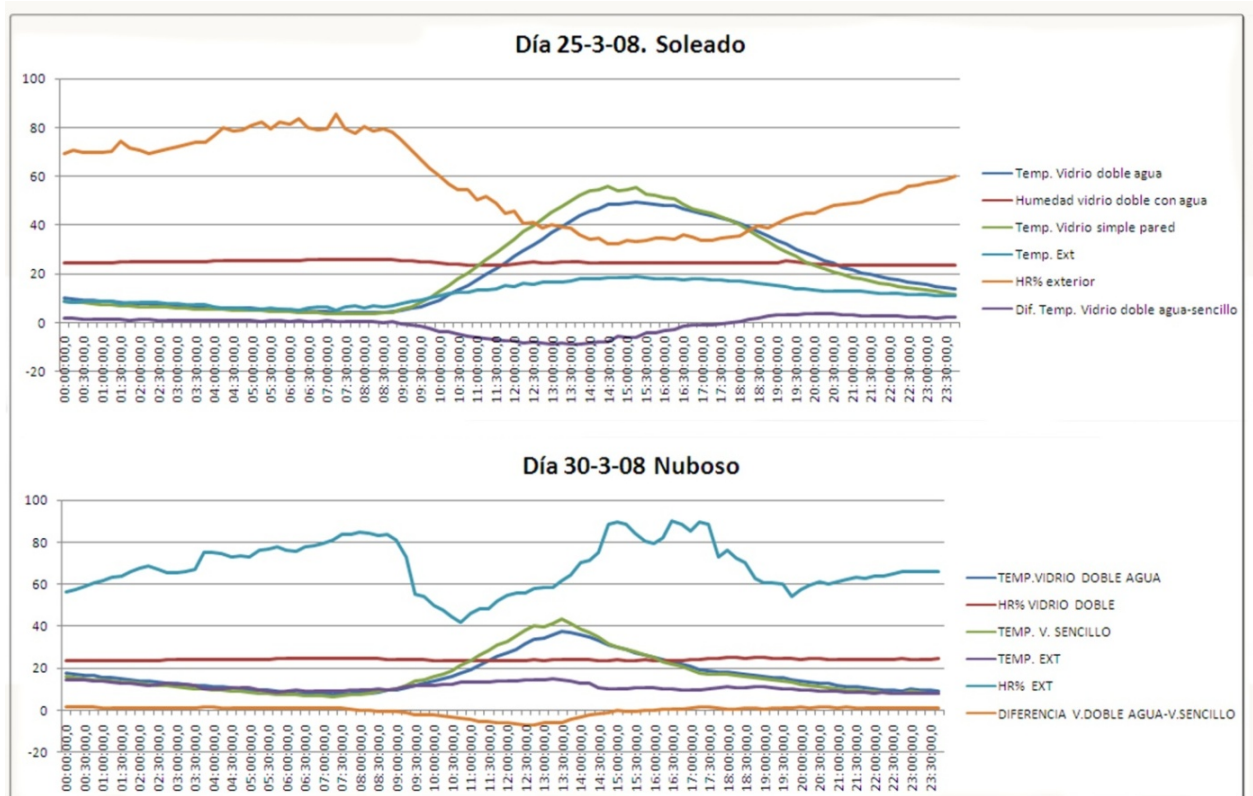
El presente ensayo se ha realizado durante los días 24-31 de Marzo. Para ello, se ha rellenado con agua un vidrio doble 6/8/6, descrito anteriormente, al que se le dejó previamente dos tubos de plástico que unían el exterior con la cámara, con el fin de llenar la cámara con agua a temperatura ambiente, a unos 20°C (ver imagen 6).



Imagen 6. Procedimiento de llenado del vidrio doble con cámara de agua. Fotografía de archivo.

La gráfica 2 adjunta a continuación corresponden a las realizadas el día **25-3-08 (soleado)** y **30-3-08 (nuboso)**, elegidos entre los 8 días que duró el ensayo. Como se pueden observar en ellas, en el día soleado del 25-3, la temperatura exterior varía desde los 3-4°C en horas nocturnas hasta casi los 20°C en horas de sol, con unas fluctuaciones de humedad relativa del aire entre el 80% y el 35%, coincidiendo esta bajada con la subida de temperatura. (Ver colores azul para temperatura y naranja para humedad de gráfica 2). Sin embargo para el día nuboso la temperatura exterior (color magenta) se mantiene casi constante a unos 18°C, con grandes variaciones de humedad, debido a las precipitaciones acumuladas a lo largo de la tarde (color azul).

Como se puede observar, el doble acristalamiento con cámara de agua, reduce la ganancia térmica hasta unos 8°C en horas de sol, manteniéndose casi a la misma temperatura que el sencillo en horas nocturnas, según la línea de diferencia de temperatura del vidrio doble con agua y el sencillo, tomando como referencia el valor "0". (Ver en gráfica 2 en día soleado línea morada y en día nublado línea naranja).



Gráfica 2. Vidrio sencillo-doble acristalamiento con agua. Días soleado y nublado

Por último, comparamos el vidrio doble con cámara de aire con el de la cámara llena de agua. Se observa como el comportamiento diurno de la cámara de agua reduce la ganancia térmica en 8°C al de cámara de aire.. En horas nocturnas, ambos tienen un comportamiento parecido, aislando en unos 3-4°C más el de la cámara de aire.

VII.CONCLUSIONES

De los datos obtenidos en los ensayos se obtienen las siguientes conclusiones:

El vidrio sencillo de 6 mm, produce captación energética diurna con diferencias observadas hasta 38°C con el exterior. El vidrio doble con aire produce 39°C de diferencia con el exterior. Por lo tanto el vidrio doble con aire produce una captación de un 2% superior al patrón de 6mm.

El vidrio sencillo de 6 mm, produce captación energética diurna con diferencias observadas en los ensayos correspondientes hasta 36.74°C con el exterior. El vidrio doble con agua produce 30.39°C de diferencia con el exterior. Por lo tanto el vidrio doble con agua reduce la captación en un 20% con respecto al de 6mm.

Por lo tanto, el vidrio con cámara de agua mejora al vidrio con cámara de aire en un 22% en la reducción de ganancias térmicas diurnas.

Con los datos que se irán obteniendo a partir de los ensayos respecto a los datos de temperatura y humedad tanto exterior como interior de la caja, así como los de radiación y luminosidad exteriores e interiores, pueden servir para la elaboración de un manual de aplicaciones y guía al proyectista acerca de qué acristalamiento sería más eficiente.

Una vez determinado su comportamiento, con respecto a los vidrios elegidos y estudiados, se hará un balance económico sobre el ahorro energético que ello conllevaría a la larga, con respecto al desembolso económico que supondría al usuario el instalar dichos vidrios.

Estos datos también permitirán ajustar las curvas de comportamiento que utilizan los programas de simulación energética.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Libros y artículos:

BUTTON, David; and PYE, Brian. Glass in Building : A Guide to Modern Architectural Glass Performance. Oxford: Butterworth Architecture, 1993. ISBN 0-7506-0590-1.

CARMODY, John; SELKOWITZ, Stephen and HESCHONG, Lisa. Residential Windows : A Guide to New Technologies and Energy Performance. New York: W.W. Norton, 2007. ISBN 0-393-73004-2.

COMPAGNO, Andrea. Intelligente Glasfassaden : Material, Anwendung, Gestaltung = Intelligent Glass Façades : Material, Practice, Design. 4. rev. und erw. Aufl ed. Basel: Birkhauser, 1999. ISBN 3-7643-5996-X.

MINGUET, José M.; and BAHAMÓN, Alejandro. Casas De Cristal = Casas De Vidro. Barcelona: Monsa, 2007. ISBN 978-84-96823-03-7.

PLATZER, W. J. Architectural and Technical Guidelines- Handbook for the use of Switchable Façades Technology. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Systems, 2003.

SCHEERBART, P. Glass Architecture, ed. Dennis Sharp, Preager, New York, 1972.

Páginas webs de referencia:

<http://www.intelliglass.es>

<http://windows.lbl.gov/>

<http://www.sage-ec.com/>